

移动机器人的能源管理策略研究

马学江¹ 陈立宏¹ 荆麟¹ 李吉波¹ 凌国庆¹ 薛刚¹ 韩孝军²

1. 国能宁夏大坝四期发电有限公司 宁夏 吴忠 751607

2. 北京鼎誉通科技发展有限公司 北京 100041

摘要: 移动机器人能源管理对任务执行与续航能力至关重要。本文分析能源需求特性,对比能源存储技术,阐述能量回收机制。构建分层式能源管理框架,设计关键算法与自适应控制策略。探讨技术实现路径,提出基于机器学习的智能优化、多机器人协同管理及新型材料与结构设计等优化方向,为提升移动机器人能源管理效能提供理论支撑与实践参考。

关键词: 移动机器人; 能源管理; 分层式框架; 机器学习; 协同管理

引言: 随着移动机器人在工业、物流、服务等领域广泛应用,其能源管理问题愈发凸显。能源需求受任务动态性、负载变化及环境干扰等因素影响,不同类型机器人能耗差异显著。现有能源存储技术各有优劣,能量回收机制尚有提升空间。构建高效能源管理策略体系,优化技术实现路径,对提升机器人续航、保障任务连续稳定执行意义重大,成为当前研究重点。

1 移动机器人能源管理核心要素分析

1.1 能源需求特性

移动机器人在执行任务过程中,能源需求呈现动态变化特征。动态任务场景下的能耗模型受多种因素影响。高动态行走时,机器人需频繁调整运动姿态与速度,关节电机输出功率增大,导致能量消耗显著上升。负载变化同样对能耗产生重要影响,搬运重物或执行高负荷任务时,驱动系统需克服更大阻力,电机电流升高,能耗随之增加。环境干扰也不容忽视,复杂地形中的爬坡、越障及风力、水流等外力作用,均会额外消耗能量以维持稳定运行。不同类型机器人的能源需求存在明显差异。轮式机器人凭借滚动摩擦较小的优势,在平坦地面能耗较低,但面对松软地面或障碍物时,轮子打滑或阻力增大,能耗显著提升^[1]。足式机器人通过模仿生物步态实现灵活移动,在复杂地形中适应性更强,然而多关节运动控制复杂,各关节电机需持续工作以维持平衡与运动,整体能耗较高。空中机器人依赖旋翼产生升力,飞行中需持续消耗能量克服重力与空气阻力,尤其在悬停、快速爬升或避障时,能耗进一步增加。

1.2 能源存储技术对比

电池技术是移动机器人能源存储的核心方案。锂离子电池具有高能量密度、长循环寿命等优势,应用广泛,但充放电速率有限,低温环境下性能明显衰减。固态电

池采用固态电解质,安全性更高,能量密度提升,但制造成本较高,大规模应用仍面临挑战。燃料电池通过电化学反应将化学能转化为电能,能量转换效率高、零排放,但需持续供应燃料,系统复杂度较高。新型储能技术为能源存储提供了新思路。超级电容器具备快速充放电特性,功率密度极高,适用于瞬时高功率输出场景,但能量密度较低,难以满足长时间续航。飞轮储能利用高速旋转的飞轮存储能量,通过电机与发电机切换实现充放电,寿命长、效率高,但能量密度有限,且需配备真空密封装置以减少损耗。混合储能系统结合多种技术优势,例如电池与超级电容器组合,利用电池提供持续能量,超级电容器应对瞬时高功率需求,实现能源存储与释放的优化匹配。

1.3 能量回收与再利用机制

能量回收与再利用是提升移动机器人能源利用效率的关键手段。制动能量回收技术广泛应用于轮式机器人,当机器人减速或制动时,驱动电机切换至发电机模式,将动能转化为电能并存储于电池中,减少能量浪费。环境能量采集技术通过收集太阳能、风能、热能等自然能源为机器人补充能量。太阳能采集系统在光照充足环境下可为机器人持续供电,尤其适用于户外长时间作业场景;风能采集装置可在有风条件下为机器人提供辅助能量;热能采集技术则通过热电转换材料将环境热能转化为电能,拓展能源补充途径。通过优化采集装置结构与能量转换效率,可进一步提升环境能量采集的实用性与经济性。

2 能源管理策略体系构建

2.1 分层式能源管理框架

分层式框架通过模块化分工实现能源管理的精准高效运行。感知层作为数据采集前端,通过多种传感器组

成的监测网络实时获取能源状态关键指标,包括电池电压波动范围、电流瞬时峰值及温度变化曲线,同时采集光照强度、地形坡度和空气湿度等环境参数。传感器数据采集要求较高精度,电压测量需达 ± 0.01 伏,电流 ± 0.1 安培,温度 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$,确保数据准确可靠。这些数据经初步滤波校准后传输至决策层进行深度分析。决策层作为能源管理智能核心,依托能耗预测模型生成动态分配方案。采用基于时间序列分析的预测方法,结合任务进度和剩余电量,推算未来能耗趋势并提前调整能源分配,确保关键任务获得充足能量。执行层将决策转化为具体控制指令,通过调节电机转速实现精准控制,并切换工作模式以适应任务需求。长距离巡航时启用节能模式降低能耗,紧急避障时切换至高性能模式提升响应速度,根据电池健康状态选择快充或慢充模式,避免过充导致的容量衰减。

2.2 关键算法设计

能耗预测模型是策略优化的基础,要融合历史任务数据和实时运行参数构建多维预测框架。结合任务类型的能耗特点,像搬运任务里电机持续高负载运转的能耗模式,巡检任务中传感器频繁启停的能耗波动,还有探测任务里雷达长时间扫描的能耗曲线,同时考虑负载重量对电机扭矩的影响,环境温度对电池充放电效率的干扰,用数据挖掘技术训练出高精度预测模型,给动态分配提供量化依据。动态任务调度算法注重能源状态和任务优先级的协同,当电量低于安全值时,自动把低优先级任务挂起,优先执行返回充电或关键数据传输任务,确保机器人不会因没电而中断服务^[2]。多目标优化算法致力于在能耗、效率和稳定性间找平衡,把一种基于图论的路径规划方法和一种追求运动平滑的方法结合起来,生成既省能量又避免频繁启停的最优路径。比如在复杂地形里,通过优化路径拐点位置减少转向频次,有效降低转向系统在方向调整过程中的能量消耗

2.3 自适应控制策略

自适应控制关键是根据环境变化实时调整运行参数,实现能源利用最大化。当机器人走到坡道,传感器识别出地形坡度后,自动优化步态参数。足式机器人延长支撑相时间增强抓地力,缩短摆动相时间减少能量损耗;轮式机器人降低转速增大扭矩,避免打滑重复做功。到平坦路面就恢复默认参数高效运行。故障容错机制针对能源系统潜在风险设计应对办法,当电池组里个别单体电压不均衡时,启动均衡充电策略。通过能量转移线路把高电压单体的多余能量补给低电压单体,让整组电压一致,避免单体过充或过放让整组性能变差。这种分层

设计、算法驱动和自适应调整相结合,让能源管理策略能动态响应,显著提升机器人在复杂场景的续航和可靠性,保证任务执行连续稳定。

3 能源管理系统的技术实现路径

3.1 硬件系统设计

硬件系统作为能源管理的基础支撑,需要统筹优化电源、传感与计算三大模块。高效电源模块承担能源转换核心功能,采用高精度电压转换技术,为不同电压等级的用电设备提供稳定供电。通过多级稳压电路将电池组高压逐步降至电机驱动所需低压,可有效避免电压波动导致的设备损伤。低损耗电路设计着力减少能量传输浪费,选用低电阻导电材料并优化线路布局,显著降低发热损耗。分布式传感器网络是数据采集的关键环节,需兼顾轻量化与低功耗特性。轻量化设计通过采用微型温度与加速度传感器,在保证测量精度的同时最大限度减小体积。低功耗布局依托智能休眠机制,使传感器在非工作时段自动进入低功耗状态,仅在异常检测或唤醒指令时恢复全功率运行,从而延长系统续航。边缘计算单元负责本地化数据处理,通过在设备端部署计算资源来降低数据传输延迟。如在机器人本体集成小型处理器,对实时采集数据进行初步筛选分析,仅将关键信息上传云端。这种处理方式既节约通信带宽,又提升决策响应速度,有力保障能源管理策略的实时执行。

3.2 软件架构优化

软件架构是能源管理的智能中枢,需通过操作系统与框架设计实现高效协同。实时操作系统是多任务并行处理的基础,需具备高优先级任务抢占机制,确保能源状态监测、能耗预测与动态分配等关键任务优先执行。例如当电池电压骤降时,系统立即中断低优先级任务,优先执行故障诊断与保护策略,避免设备损坏。模块化软件框架则通过功能分离提升系统可维护性。将能源管理、路径规划与运动控制模块独立开发,各模块间通过标准化接口通信,降低耦合度。例如能源管理模块仅负责能耗监测与分配,路径规划模块根据能源状态生成最优路径,运动控制模块执行路径指令,三者协同工作却互不干扰,便于后续功能扩展与故障排查。

3.3 系统集成与测试

系统集成需通过硬件-软件协同验证确保整体性能。例如利用仿真平台模拟不同工况,测试算法在复杂环境下的鲁棒性。在高温环境中,验证电源模块的散热设计与传感器的温度补偿算法是否有效;在强电磁干扰场景下,检查通信链路是否稳定,避免数据丢失导致决策失误。极端工况测试是评估系统可靠性的关键环节。将设

备置于高温、低温、强干扰等极端环境中,持续运行数小时甚至数天,监测能源管理策略的适应性^[3]。例如在低温环境下,测试电池的充放电效率是否下降,电机启动是否顺畅;在强干扰环境中,验证传感器数据是否准确,边缘计算单元的决策是否受影响,通过反复测试与优化,确保系统在复杂场景中稳定运行。

4 能源管理策略的优化方向

4.1 基于机器学习的智能优化

强化学习为动态能源分配提供了新方法,通过环境交互与试错机制探索最优策略。在复杂任务场景中,机器人需要根据实时能耗与任务进度调整能源分配,强化学习算法能让机器人在实践中积累经验。以多任务并行处理为例,机器人首先随机分配能源,若因某任务能耗过高导致效率下降,算法会记录结果并调整策略,经过多次迭代后找到兼顾各任务需求的最佳方案,实现能源利用效率最大化。深度学习模型在能耗模式识别与预测方面具有显著优势,特别擅长处理时序数据。LSTM网络作为典型深度学习结构,能够有效捕捉能耗数据中的长期依赖关系。在能源管理系统中,通过收集历史能耗数据与环境参数,训练LSTM模型对未来时段的能耗趋势进行准确预测。例如当预测到后续任务能耗将显著增加时,系统可提前调整能源储备或优化任务顺序,避免因能源短缺造成任务中断。

4.2 多机器人协同能源管理

集群机器人间的能源共享机制是提升整体续航能力的关键。无线能量传输技术为实现这一目标提供了可能,通过在机器人间部署能量发射与接收装置,当某机器人能源不足时,其他机器人可向其传输能量。例如在执行大规模巡检任务时,部分机器人因长时间运行电量耗尽,附近电量充足的机器人可通过无线充电技术为其补充能量,确保整个集群持续工作,避免因个别机器人没电而影响整体任务进度。分布式任务分配与能源调度则借助博弈论实现协同优化。将每个机器人视为博弈参与者,根据自身能源状态与任务需求制定策略,通过多轮博弈达成

全局最优解。例如在资源勘探任务中,多个机器人需分工合作覆盖不同区域,每个机器人会根据自身剩余电量、探测效率等因素选择最优勘探区域,同时考虑其他机器人的选择,通过博弈调整策略,最终实现任务分配与能源调度的平衡,提升整体任务执行效率。

4.3 新型材料与结构设计

低功耗驱动元件是降低能源消耗的重要方向。磁悬浮关节通过非接触式支撑减少摩擦损耗,提升运动效率。在机器人关节处应用磁悬浮技术,可让关节在运动过程中几乎无摩擦,降低能量损耗,同时提升运动精度与响应速度。超导电机则利用超导材料的零电阻特性,减少电流传输过程中的能量损失,提高电机效率,为机器人提供更强劲的动力支持。仿生结构优化从自然界中汲取灵感,模仿动物肌肉的高效能量传递机制。例如模仿鸟类飞行肌肉的收缩与舒张方式,设计机器人的驱动结构,使能量传递更直接高效。通过优化结构布局与材料选择,让机器人在运动过程中减少能量浪费,提升能源利用效率,在相同能源储备下完成更多任务或延长工作时间。

结束语

移动机器人能源管理策略研究取得一定成果,构建分层式框架、设计关键算法与自适应策略,为能源高效利用提供有效方法。技术实现路径的探索与优化方向的提出,推动能源管理向智能化、协同化、节能化发展。持续深入研究与实践应用,有助于提升移动机器人在复杂场景的适应能力与任务执行水平,促进机器人技术不断进步。

参考文献

- [1]周宝仓,吕金龙,肖铁忠,等.机器视觉技术研究现状及发展趋势[J].河南科技,2021,40(31):18-20.
- [2]冯帅.智能制造中的工业机器人技术应用及发展[J].电子技术与软件工程,2022,(14):76-79.
- [3]赵露颖.高校工业机器人实验室安全管理体系的构建[J].实验室检测,2025,3(19):110-113.